

放電研摩に関する研究

著者	八戸 信昭
号	55
発行年	1963
URL	http://hdl.handle.net/10097/8791

氏 名	八 戸 信 昭
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 38 年 10 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 精密工学専攻
学 位 論 文 題 目	放電研磨に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 佐 藤 健 児
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 佐 藤 健 児
	東北大学教授 棚 沢 泰
	東北大学教授 門 間 改 三
	東北大学教授 上 領 香 三

論文内容要旨

第1章 緒 論

放電研摩法は高速で回転している円板の面と静止している材料の面との間で放電を起こさせ、放電時の高い熱エネルギーにより材料の面加工を行なう新しい加工法であり、高硬度の金属材料およびじん性の点で機械加工の難しい金属材料の面の加工に使用すればきわめて良好な梨地仕上面を得ることができる。このような優れた特長をもつ放電研摩の本質をあきらかにするのが本研究の目的である。すなわち放電研摩は移動している電極と静止している材料との間の単発放電の集りで加工が行なわれると考えられるから放電研摩の加工現象をあきらかにするためには単発放電について知る必要がある。また加工のメカニズムを知るためには静止電極の場合の単発放電を調べ移動電極の場合と関連させることが重要である。さらに、放電研摩によって得られた面の性質およびそれらの面が実用的な見地から他の研摩面と比較してどのような利点を持つものであるかをあきらかにする必要がある。以上のような理由から放電研摩に関する研究を行なった。

第2章 静止電極における単発放電

放電加工は非常に数多くの単発放電のくり返しによって材料を加工する方法であり放電時の大きなエネルギーを利用して硬い金属でも容易に加工することができる。放電加工の精度、加工量、表面あらさなどを向上させるためにはまず単発放電についての研究、とくに単発放電クレータの形成についての研究が必要である。すなわち

1. 放電エネルギーと単発放電クレータの関係をあきらかにし、1回の放電によってできるクレータの深さを理論的に解析する。
2. 放電回路の電気的条件がクレータ深さにおよぼす影響をあきらかにし、実際の放電加工の実験結果がクレータ理論を使って説明できることをあきらかにする。

以上の理由から単発放電クレータに関する研究を行なった。

2.1 クレータ深さに関する理論的考察

1回の放電時間がきわめて短いために (10^{-6} sec 程度) 電極間に発生する熱量はしゅん間的である。材料表面に与えられた熱量は材料を表面から蒸発させる。熱は次第に材料内部の方向に熱伝導で伝わって行きエネルギーの大部分は材料を蒸発させるための潜熱として使用される。そして残りの熱量が溶融の潜熱および熱伝導で蒸発部分のさらに下の部分に伝わるものとする。筆者は熱源としてしゅん間平面熱源を考えた。また簡単化のために次のように仮定する。

仮定 1 加工物の大きさは放電点の面積に比べてきわめて大きいと考えられるので半無限体であると考える。

仮定 2 放電点の面積に比べて考える深さが $1/100 \sim 1/200$ ときわめて浅いので材料内部方向の熱伝導は一次元の熱伝導と考える。

仮定 3 放電時間中に与えられる全エネルギーは放電時間を細分してその時間巾内で発生するエネルギーが時間巾のはじめのしゅん間しゅん間に与えられると考えた場合の積み重ねに相当すると考える。放電柱の面積が変わらないと仮定すればある一定の時間間隔をとりながらしゅん間平面熱源として次々に材料表面に与えられた場合のクレータ深さは、全エネルギーがしゅん間的に一時に与えられた場合のクレータ深さに等しいので、加工エネルギーはしゅん間熱源として材料の表面に与えられると考える。

仮定 4 材料の熱定数は高温におけるデータが明確でないので常温時のものを用いる。

このような理想的な状態における単発放電クレータの深さを考察する。

一般に単位面積当たりの熱量を $q(\text{cal/cm}^2)$ とすると、しゅん間熱源の強さ θ_0 は材料の比熱を $c(\text{cal/g}^\circ\text{C})$ 、密度を $\rho(\text{g/cm}^3)$ として

$$\theta_0 = -\frac{q}{c\rho} \quad (2.1)$$

で与えられる。

材料内部方向を x とすると温度分布の式は次のようである。

$$\theta = \frac{\theta_0}{\sqrt{\pi K t}} e^{-\frac{x^2}{4Kt}} \quad (2.2)$$

ここで K は温度伝導率、 t はしゅん間熱源が与えられてからの経過時間である。いま θ_0 を材料の沸点とし (2.2) 式で $\theta = \theta_0$ とおくと、これは θ_0 をパラメータとする x と t の関係式になる。つまり材料の表面に θ_0 の強さのしゅん間熱源が与えられてから任意のある時間の後に熱伝導のみによって沸点に達する点の深さをあらわすものである。この深さは最初は浅く時間の経過とともに深くなるが時間が経つと再び浅くなり途中で最大の深さ x_0 に達する時間 t_0 が存在する。最大深さ x_0 および x_0 に達するまでの時間 t_0 は計算によって求めることができる。それらを求めるには (2.2) 式で dx/dt を求め、これを零とおけばよい。したがって t_0 、 x_0 は

$$t_0 = \frac{1}{\pi K e} \left(\frac{\theta_0}{\theta_v} \right)^2 \quad (2.3)$$

$$x_0 = \sqrt{\frac{2}{\pi e}} \left(\frac{\theta_0}{\theta_v} \right) \quad (2.4)$$

で与えられる。しかし実際には熱伝導によって失われる熱量の他に材料を溶融、蒸発させるための熱量も必要であるのでこの深さ x_0 は修正されなければならない。

単位体積の材料を溶融し、さらに蒸発させるための熱量は $\rho(\text{V} + \text{M})$ である。ただし V 、 M はそれぞれ材料の気化熱 (cal/g) および融解熱 (cal/g) である。したがって、いま実際の蒸発深さを x_v とすると単位面積当たりの熱量 q は (2.2) 式の x_0 を x_v とよみかえて

$$\begin{aligned} q &= 1 \times x_v \times \rho(\text{V} + \text{M}) + 1 \times x_v \times \sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \rho \theta_v \\ &= x_v \rho(\text{V} + \text{M}) + \sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \rho \theta_v \end{aligned} \quad (2.5)$$

となる。第 1 項は x_v の深さまで溶融し、さらに蒸発させるのに要する熱量、第 2 項は熱伝導によって失われる熱量である。したがって

$$x_v = \frac{q}{\rho(\text{V} + \text{M}) + \sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \rho \theta_v} \quad (2.6)$$

となる。

さて沸点にまで達した材料の下部は一部溶融状態にあると思われる。前と同様に材料の融点 θ_m に達する最大深さ x'_0 とその時間 t'_0 は (2.2) 式で $\theta = \theta_m$ とおいた式から $dx/dt = 0$ として次のように求められる。

$$t'_0 = \frac{1}{\pi K e} \left(\frac{\theta_0}{\theta_m} \right)^2 \quad (2.7)$$

$$x'_0 = \sqrt{\frac{2}{\pi e}} \left(\frac{\theta_0}{\theta_m} \right) \quad (2.8)$$

材料を溶融するための熱量は溶融深さを x_m とすると単位面積当たり $1 \times x_m \times \rho \times \textcircled{M}$ である。したがって熱伝導も含めて材料をとかすのに必要な熱量を q_m とすると

$$q_m = x_m \rho (\textcircled{M} + \sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \rho \theta_m) \quad (2.9)$$

$$\text{したがって} \quad x_m = \frac{q_m}{\rho (\textcircled{M} + \sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \rho \theta_m)} \quad (2.10)$$

この q_m は (2.5) 式で表わされる熱量 q の中に含まれる量である。いま q_m と q の間には

$$q_m = k_v q \quad (2.11)$$

なる関係があると考える。

k_v は x_v の深さまで蒸発、溶融するのに使われたエネルギーを全体のエネルギーから差し引いた残りのエネルギーの全体のエネルギーに対する割合と仮定する。すなわち

$$k_v = \frac{\sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \theta_v}{\sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \theta_v + \textcircled{V} + \textcircled{M}} \quad (2.12)$$

である。クレータ深さ x を蒸発深さ x_v と溶融深さ x_m との和と考えると式 (2.6) と式 (2.10) から次式が得られる。

$$x = x_v + x_m = \frac{q}{\sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \rho \theta_v + \rho (\textcircled{V} + \textcircled{M})} + \frac{k_v q}{\sqrt{\frac{\pi e}{2}} c \rho \theta_m + \rho \textcircled{M}} \quad (2.13)$$

この式は単発放電のクレータ深さを求める理論式であって材料の熱定数 $c, \rho, \textcircled{V}, \textcircled{M}, \theta_v, \theta_m$ などが固有の値を持つとすればクレータ深さ x は放電によって材料表面に与えられる熱量 q に比例することがわかる。(2.13) 式の関係を各種金属について計算すると、表 2.1 のようになりこれから放電によって加工物表面に与えられる単位面積当たりの熱量 q さえわかればクレータ深さが容易に求められることになる。

表 2.1 各種金属の熱定数, k_v 値とクレータ深さ

金 属	比 熱 cal/g°C	密 度 g/cm ³	沸 点 °C	融 点 °C	気化熱 cal/g	融解熱 cal/g	k_v 値	クレータ深さ (μ)
タングステン	0.032	19.3	5930	3410	981	44	0.276	$x = 0.90q$
銅	0.092	8.96	2600	1083	1146	50.6	0.292	$x = 1.93q$
鉄	0.110	7.87	2740	1540	1515	65	0.283	$x = 1.44q$
アルミニウム	0.215	2.699	2060	660	2740	94.6	0.242	$x = 3.31q$
亜鉛	0.092	7.13	906	420	426	24.1	0.302	$x = 6.25q$
鉛	0.031	11.34	1740	327	223	6.3	0.327	$x = 13.15q$
黄銅	0.091	8.39	1920	905	860	40.0	0.287	$x = 2.56q$

2.2 単位面積当たりの熱量 : q

単位面積当たりの熱量 q は電極間熱量 Q をクレータ面積 s で割ったものである。陽極側に与えられるエネルギーを ξQ 、陰極側のエネルギーを $(1-\xi)Q$ とすると陽極側の単位面積当たりの

熱量 q_w および陰極側の単位面積当たりの熱量 q_e が考えられる. q を決めるには次のものがわかればよい.

- (i) 電極間熱量 Q (放電電流 i と放電抵抗 r_s から求まる.)
- (ii) エネルギー分配割合 ξ (陽極消耗量 m_w , 陰極消耗量 m_e から求まる.)
- (iii) クレータ面積 s (クレータ直径 ϕ から求まる.)

エネルギー Q は電流波形を $i(t)$ とすると

$$Q = -\frac{1}{J} \int_0^{t_s} i^2(t) r_s dt \quad (2.14)$$

から求まる. ただし
$$i = \frac{2 V_{co}}{\sqrt{\frac{4L}{C} - R^2}} e^{-\alpha t} \sin \beta t \quad (2.15)$$

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad \begin{array}{l} t_s: \text{第1半波放電時間} \\ r_s: \text{放電抵抗} \end{array}$$

また実際の放電電流波形から求めることもできる. すなわち放電時間 t_s を細分して, 時間巾を Δt とすると Δt 内における平均電流 \bar{i}_n と放電抵抗 r_s とから

$$Q = -\frac{1}{J} \sum \bar{i}_n^2 r_s \Delta t \quad (2.16)$$

ここで r_s は放電時間 t_s を実測すると (2.15) の $i=0$ から $\beta t_s = \pi$ となり

$$r_s = R - r_L = 2L \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{\pi}{t_s}\right)^2} - r_L \quad (2.17)$$

である. したがって, 実験により次のものを求めた.

- (i) 放電電流波形
- (ii) 陽極消耗量 m_w , 陰極消耗量 m_e
- (iii) クレータ直径 ϕ_w, ϕ_e

2.3. 実験装置

図 2.1 は, 静止電極単発放電の実験装置である. 電極: 黄銅製 70mm ϕ 円板, コンデンサボックス: $C=0.1\mu F \sim 320\mu F$, 抵抗器: $5\Omega \sim 50K\Omega$, 加工液: マシン油から構成されている.

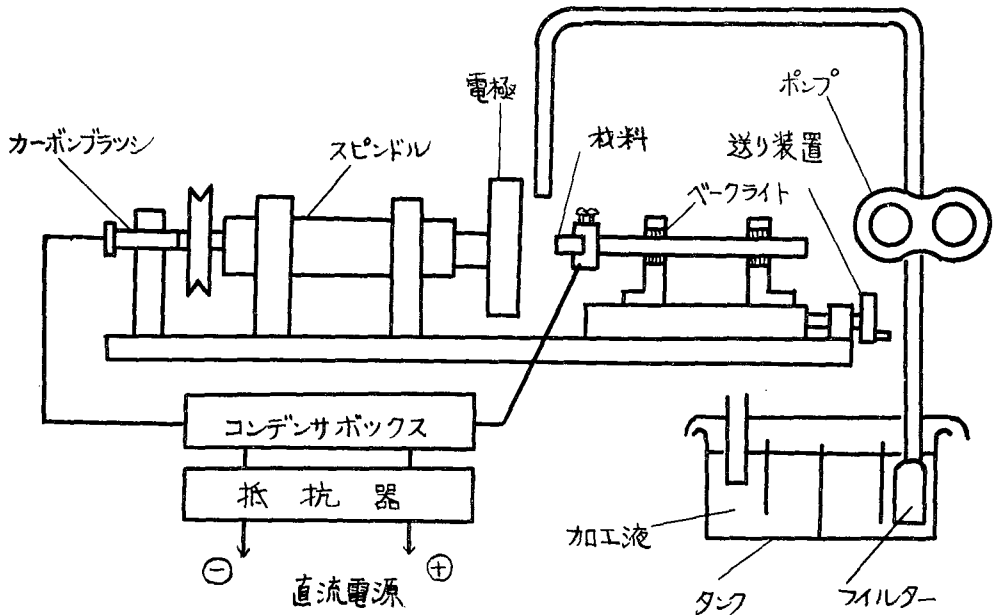


図 2.1 単発放電実験装置

単発放電電気回路を図 2.2 に示す。放電回路にはインダクタンスおよび導線抵抗を挿入できる。また図中試作抵抗体とあるものは放電電流を測定するために試作したもので時定数をきわめて小さくしてある。試作抵抗体の外観を図 2.3 に示す。

クレータ直径は工具顕微鏡で測定した。また陽極消耗量および陰極消耗量は数 100 回～数 1000 回の単発放電を行ない消耗量から計算によって求めた。

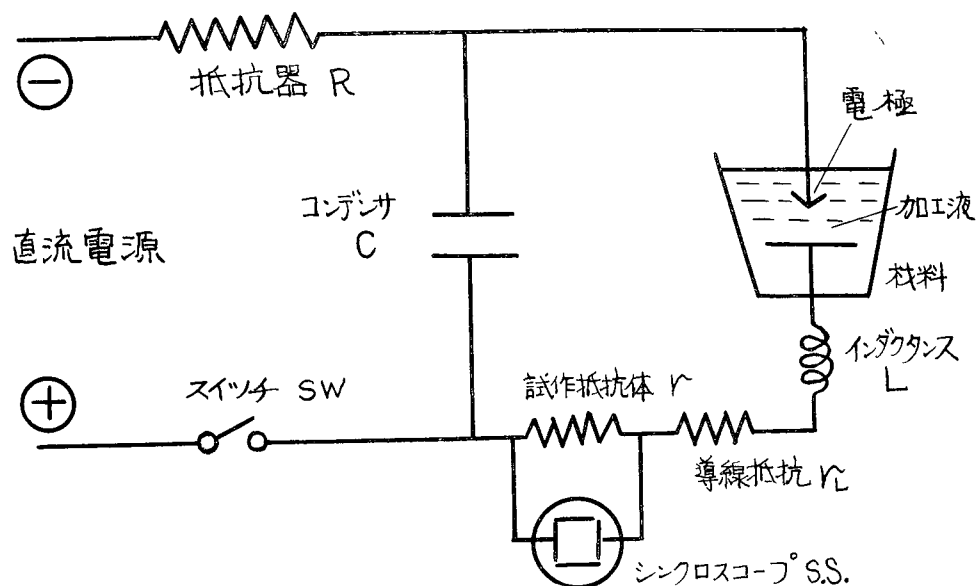


図 2.2 単発放電電気回路

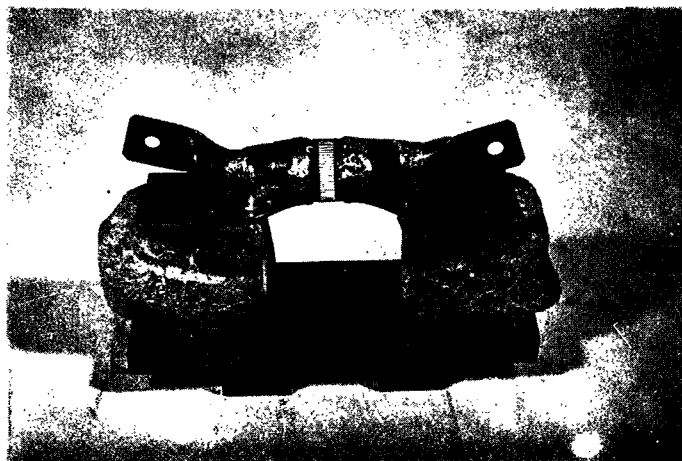


図 2.3 試作抵抗体 ($R=0.010\Omega$)

2.4 実験結果およびその考察

放電回路のコンデンサ静電容量、インダクタンス、導線抵抗などを変え、いろいろな条件の下で放電を行ないその時の放電電流を測定した。結果を図 2.4 に示す。コンデンサ静電容量が大きくなると放電時間も伸びる。また放電回路のインダクタンスがふえると放電時間も長くなることわかる。また放電クレータの深さをいろいろな条件の下で測定した結果を表 2.2 に示す。

表 2.2 静止電極における単発放電クレータ深さ $x(\mu)$, Cu-Cu, $V_{CO}=100V$

コンデンサ 静電容量	320 μF				64 μF			
	計 算 値		実 験 値		計 算 値		実 験 値	
条 件	陽 極	陰 極	陽 極	陰 極	陽 極	陰 極	陽 極	陰 極
$r_L = 12m\Omega, L = 6.7 \times 10^{-7}H$	74	38.5	39	44	54	24.5	19	17
$r_L = 17m\Omega, L = 25.9 \times 10^{-7}H$	80	50	55	49	38.5	29	23	19.5
$r_L = 21m\Omega, L = 59.3 \times 10^{-7}H$	52.5	27	47	42	30.5	12	33	26
$r_L = 35m\Omega, L = 6.8 \times 10^{-7}H$	48	28	40	45	46.5	20	24	24
$r_L = 110m\Omega, L = 8.6 \times 10^{-7}H$			45	43.5			28	17

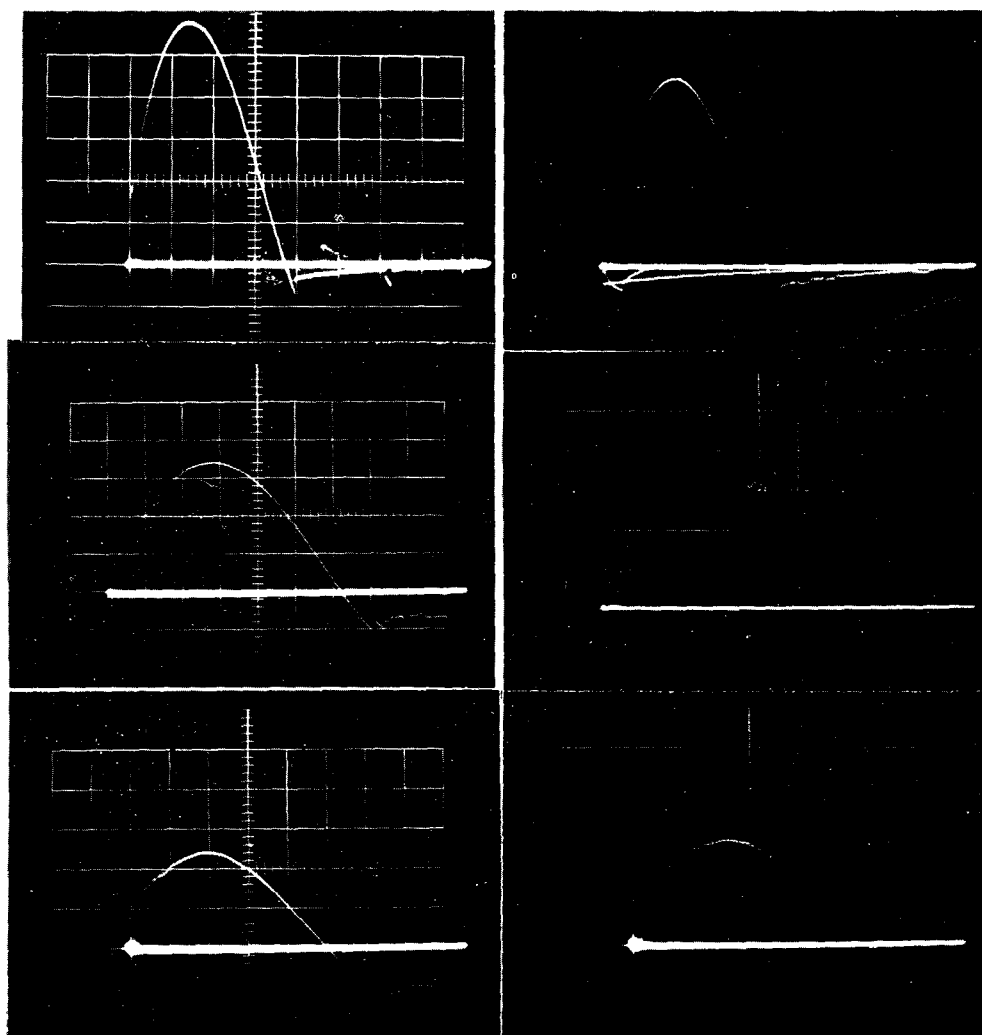


図 2.4 放電電流波形(銅一銅, $V_{CO}=100V$)

条件 : (左) $r_L=17m\Omega, L=25.9 \times 10^{-7}H$, (右) $r_L=21m\Omega, L=59.3 \times 10^{-7}H$
 (上) $C=320\mu F$ (中) $C=128\mu F$ (下) $C=64\mu F$ たて $100A/div$
 よこ $30\mu s/div$ ($C=320\mu F$) $10\mu s/div$ ($C=128, 64\mu F$)

放電電流波形から放電抵抗 r_s を求め、式 (2.14) からエネルギーを求めた。放電柱直径が放電中変わらないと考えると、単位面積当たりの熱量 q を求め、式 (2.13) からクレータ深さを決定した。(計算値) 実験値と比較すると計算値の方が実験値よりいくらか大きくなっている。

次に放電クレータ ϕ_w, ϕ_e を測定し放電電流の最大値 i_m との関係を求めた。結果を図 2.5 に示す。 i_m と ϕ_w, ϕ_e とはほぼ直線関係を示す。なお、図から

エネルギー $\propto i^2$ クレータ面積 $\propto \phi^2$ である。

また $q = \frac{\text{エネルギー}}{\text{クレータ面積}}$ であるから

したがって、図 2.5 の関係は、放電中単位面積当たりのエネルギー q は一定であると考えてもよいことを示している。

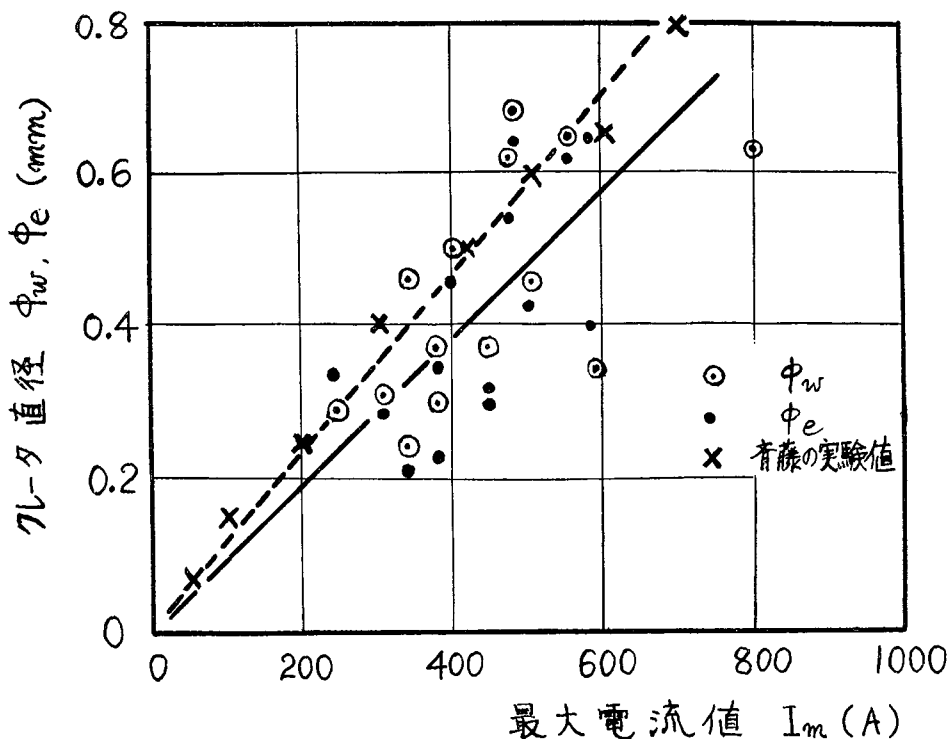


図 2.5 クレータ直径と最大電流値との関係

考察：放電電圧、コンデンサ、インダクタンス、導線抵抗がクレータ深さにおよぼす影響

1. 放電電圧 V_{co} の影響

放電エネルギーは V_{co} の 2 乗に比例する。クレータ直径は実験によると V_{co} の (0.6~0.8) 乗で変化する。したがって、エネルギーをクレータ面積で割った単位面積当たりのエネルギー q は V_{co} の (0.4~0.8) 乗に比例する。図 2.6 は放電電圧とクレータ深さの関係を示したもので点線は斉藤¹⁾の実験値である。筆者の理論は実験値をうまく説明することができる。

2. コンデンサ静電容量 C の影響

エネルギーはコンデンサ容量に比例する。クレータ直径は実験によると、 C の (0.4~0.5) 乗に比例する。したがって q は C の (0.1~0.2) 乗に比例する。斉藤の実験値²⁾ も大体この結果を支持するものである。

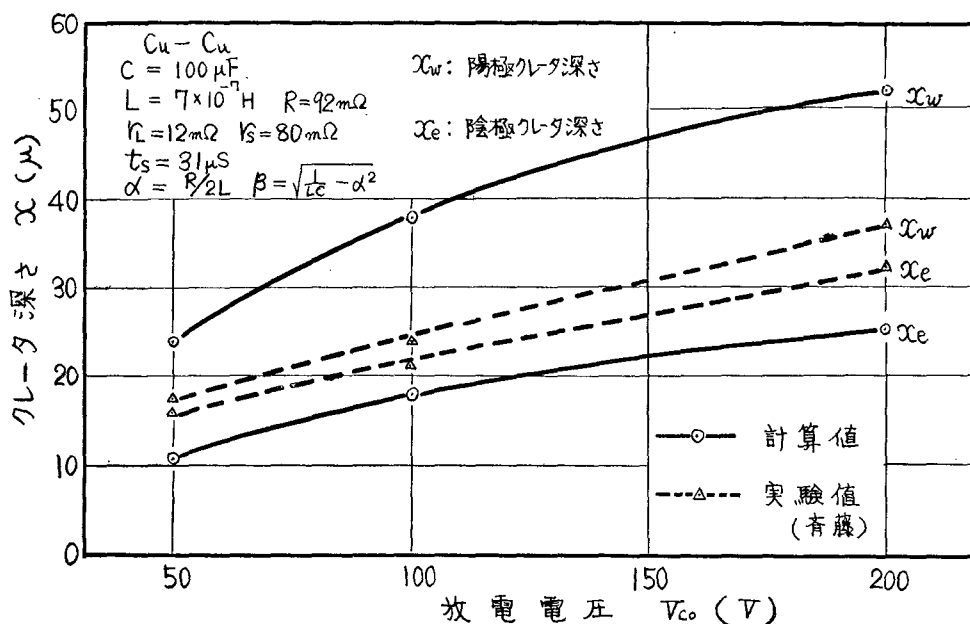


図 2.6 放電電圧とクラッタ深さとの関係

3. インダクタンス L の影響

インダクタンス L が大きくなると、クラッタ直径はやや大きくなる。したがって、エネルギー一定と考えると q は小さくなり、クラッタ深さも小さくなる。三谷の実験³⁾ も大体このようになり、コンデンサ容量の大きいところよりコンデンサ容量の小さいところでその傾向がはげしか

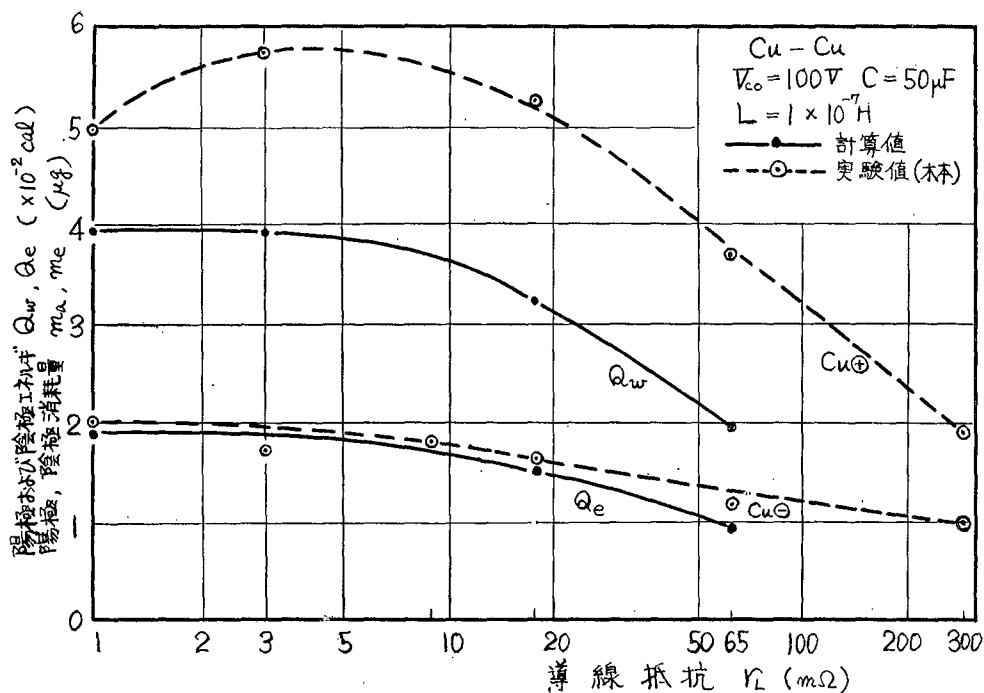


図 2.7 導線抵抗と消費量との関係

った。これはエネルギー損失の割合が、コンデンサの小さいところでは大きく影響するためと思われる。

4. 導線抵抗 r_L の影響

導線抵抗 r_L が大きくなると最大電流値 i_m が小さくなり Q が小さくなる。このため q も小さくなりクレタ深さが浅くなって加工量も減少するものと思われる。導線抵抗をいろいろ変えたときの放電エネルギーを図 2.7 に示す。点線は木本⁴⁾ が導線抵抗 r_L を変えて消耗量を求めた実験値である。筆者の理論は実験値の傾向をよく説明することができる。

第 3 章 移動電極における単発放電

放電研摩は高速で回転している電極と相対する静止材料との間での放電現象を利用して面加工を行なう方法である。この場合放電点が移動するために電極が静止している場合の放電加工に比

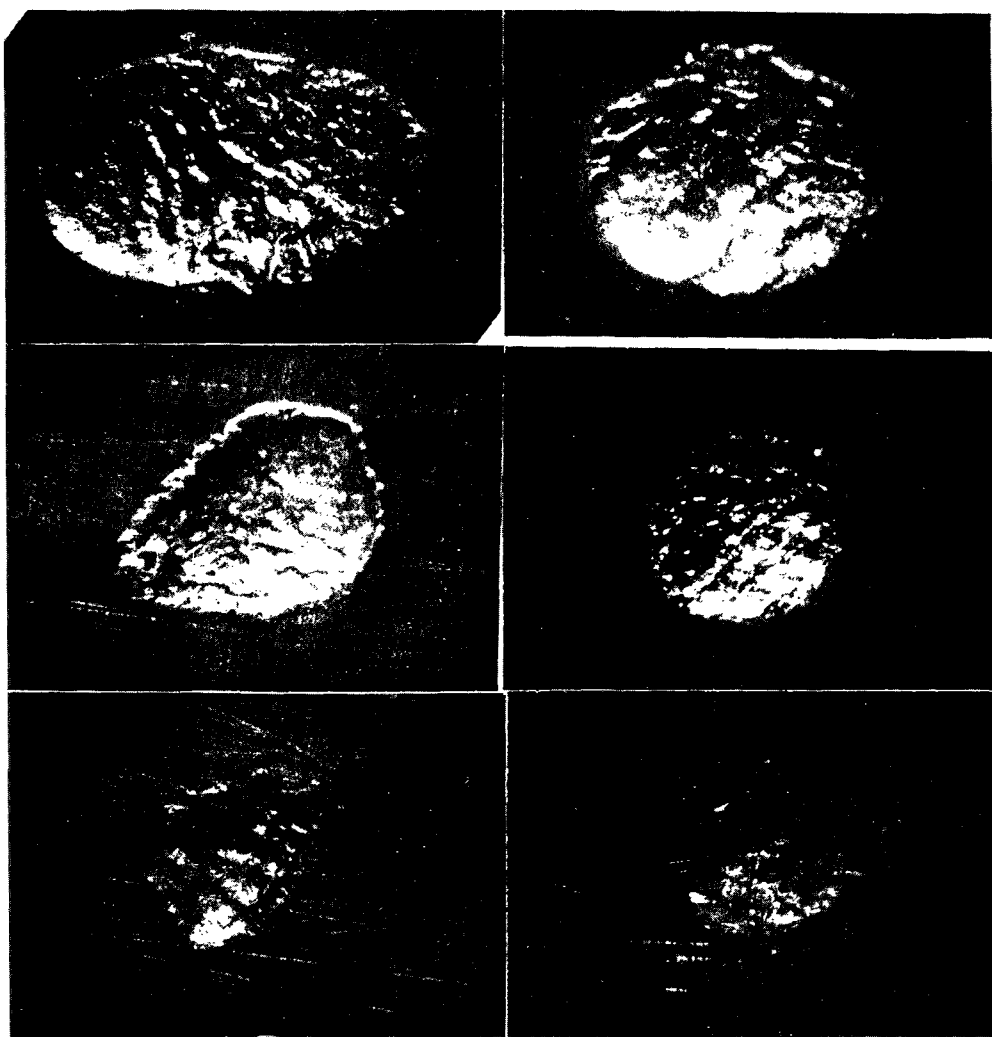


図 3.1 移動電極における単発放電クレタ (55倍)

銅—銅 $V_c=100V$, $r_L=12m\Omega$, $L=6.7 \times 10^{-7}H$, $v=25m/s$

(左) 陽極クレタ (右) 陰極クレタ 放電点は左から右の方へ動く。

(上) $C=320\mu F$ (中) $C=128\mu F$ (下) $C=64\mu F$



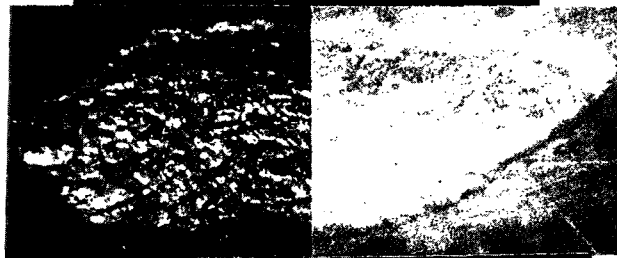
陽極クレータ



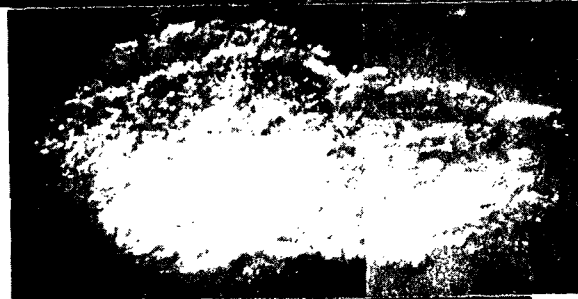
陰極クレータ

$$r_L = 17 \text{ m}\Omega$$

$$L = 25.9 \times 10^{-7} \text{ H}$$



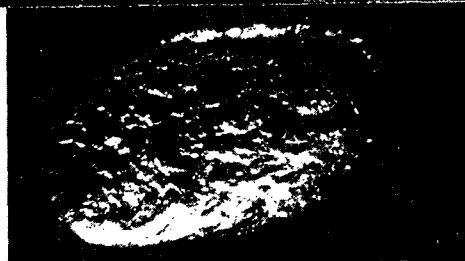
陽極クレータ



陰極クレータ

$$r_L = 21 \text{ m}\Omega$$

$$L = 59.3 \times 10^{-7} \text{ H}$$



陽極クレータ



陰極クレータ

$$r_L = 35 \text{ m}\Omega$$

$$L = 6.8 \times 10^{-7} \text{ H}$$

図 3.2
移動電極における
単発放電クレータ
(60倍)

銅—銅

$$V_{CO} = 100 \text{ V}$$

$$C = 320 \mu\text{F}$$

$$v = 25 \text{ m/s}$$

放電点は左から右
の方へ動く

おける
クレータ
(倍)

2V

μF

ms

左から

動く

べると、材料および電極上にできる放電クレータの形状は静止の場合と違って細長くのびた形になる。この卵形にのびた放電クレータがどのような経過を経て形成されるかを調べることは加工のメカニズムを知るためにも是非必要である。そのため移動電極における単発放電の研究を行なう必要がある。すなわち

1. 移動電極と静止材料間の放電クレータ形状深さについて静止電極の場合との相違をあきらかにする。
2. 放電クレータ形状と放電エネルギーの関係をあきらかにし放電クレータの断面（深さ）形状に関する理論的考察を行なう。

以上の理由から移動電極における単発放電の研究を行なった。

3.1 移動電極における単発放電クレータと静止電極におけるそれとの比較

3.1.1 放電クレータ形状

移動電極においては電極が高速で回転する。 $(v=15\sim30\text{m/s})$ このため放電クレータは静止電極の場合のように円とはならず卵形に細長くのびたものとなる。図 3.1 および図 3.2 は加工条件をいろいろ変えて放電させたときのクレータの様子を示す、

図 3.1 はコンデンサ静電容量を変えた場合、図 3.2 は放電回路条件を変えた場合のクレータである。材料および電極上のいずれのクレータものびることがわかる。またクレータは放電時間が長くなると長くのびることがわかる。

3.1.2 放電点の移動

移動電極では放電点が材料および電極上を移動すると考えられる。このため放電クレータがのびるものと思われる。そこで放電点の移動と放電クレータの形成との関係を調べる実験を行なった。図 3.3 に実験装置を示す。

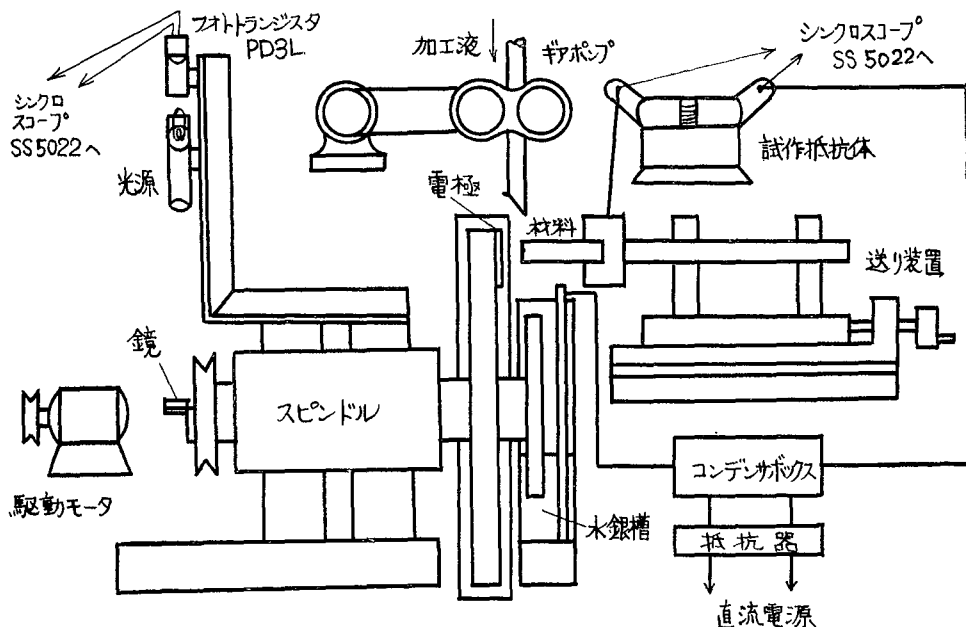


図 3.3 実験装置

回転電極と静止材料とが放電直前のある一定のきょりにまで近づいたとき回転軸に取り付けられた鏡からの反射光がフォトランジスタにあたりシンクロスコープのブラウン管上にシグナル

が出るようにする。このときの時間的關係および電極材料上に出来た放電クレータ相互の位置關係を調べた結果を図 3.4, 図 3.5 に示す。図 3.4 はシグナルが入ってから $225\mu\text{s}$ 後に放電が始まり $110\mu\text{s}$ の間放電が続いたことを示す。又図 3.5 によれば放電点は電極および材料上を円板周速度 v の $1/2$ の速度で移動することがわかる。放電柱は電極および材料面上から垂直に立ち放電中曲ったりのびたりすることはないことがわかる。すなわち放電点移動速度 v_p および移動きより l は

$$v_p = \frac{1}{2}v \quad (3.1) \quad l = \frac{1}{2}vt_s \quad (3.2)$$

である。ただし t_s : 第 1 半波放電時間である。

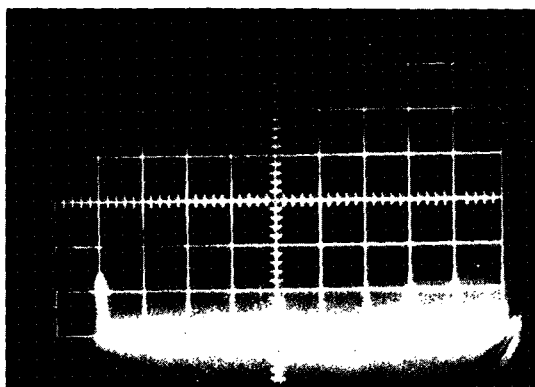


図 3.4 フォトトランジスタ信号および放電電流波形
たて 0.1V/div , 100A/div , よこ $100\mu\text{s/div}$, 銅-銅, $V_{co}=100\text{V}$, $C=320\mu\text{F}$, $r_L=17\text{m}\Omega$, $L=25.9\times 10^{-7}\text{H}$

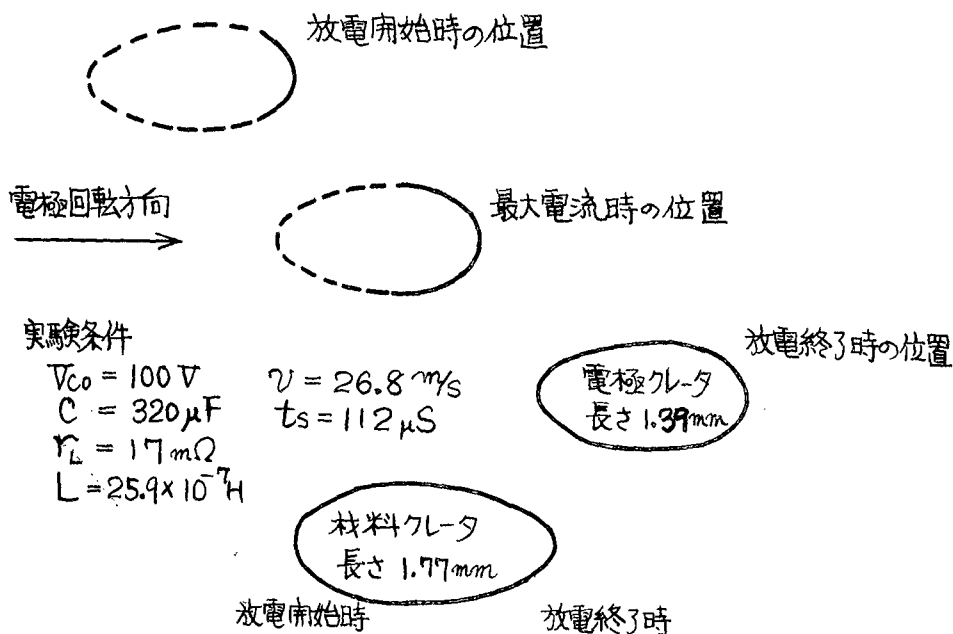


図 3.5 電極クレータ, 材料クレータの時間的位置関係 (20倍)

3.2 クレータ形状、深さに関する理論的考察

移動電極においては放電点が移動する。このため放電エネルギーは時間とともに位置を変えて加工物表面に与えられる。いま放電時間を細かく分けて考え、分割されたそれぞれの時間内に与えられる放電の熱エネルギーをしゅん間熱源と考えてそれらが時間とともに次々にその位置を移動して与えられるものとする。

このような考え方によれば第2章の理論で得たクレータ深さの式は移動電極の場合にも適用できる。すなわち単位面積当たり q なるしゅん間平面熱源が半無限体表面に与えられたときのクレータ深さ x は次式で与えられる。

$$x = \frac{q}{\sqrt{\frac{\pi e}{2} c \rho \theta_v + \rho (\nabla + \mathbb{M})}} + \frac{k_v q}{\sqrt{\frac{\pi e}{2} c \rho \theta_m + \rho \mathbb{M}}} \quad (3.3)$$

なお n 分割された放電時間 Δt において発生するエネルギー ΔQ は

$$\Delta Q = \frac{1}{J} \bar{i}_n^2 \Delta t \quad (3.4)$$

で与えられる。ただし \bar{i}_n : 平均電流である。

$$\bar{i}_n = \frac{i_n + i_{n+1}}{2} \quad (3.5)$$

単位面積当たりの熱量 q はエネルギー Q 、エネルギー分配割合 ξ およびクレータ直径 ϕ_w 、 ϕ_e から決定される。ここで ϕ_w および ϕ_e についてこれが放電時間中一定の場合と変化する場合について考える。

(i) $\phi = \text{const}$ の場合

この場合は放電クレータの最大巾を b_w, b_e とすると q_w, q_e は次式で与えられる。

$$q_w = \frac{\xi \Delta Q}{\frac{\pi}{4} b_w^2}, \quad q_e = \frac{(1-\xi) \Delta Q}{\frac{\pi}{4} b_e^2} \quad (3.6)$$

放電クレータの深さは単位面積当たりの熱量 q に比例して変わる。

放電終了後のクレータ断面形状はクレータの各位置における深さを加え合わせたものになる。図 3.6 は ϕ_w, ϕ_e が変わらないと求めて求めたクレータ断面形状である。実際のクレータ断面形状との間にかなりの相違が認められる。

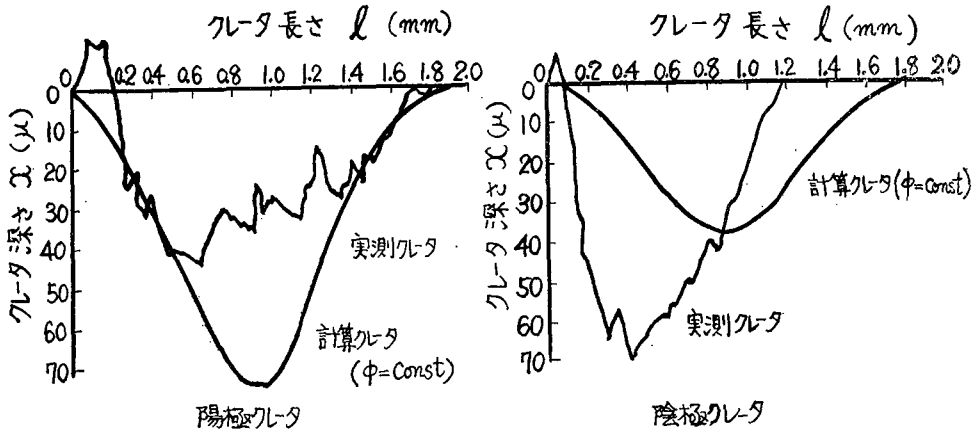


図 3.6 移動電極における単発放電クレータ形状
銅対銅 $V_{co}=100V$, $C=320\mu F$, $v=25m/s$, $r_L=17m\Omega$, $L=25.9 \times 10^{-7}H$

(ii) $\phi = \text{var}$ の場合

放電クレータ直径 ϕ_w, ϕ_e は放電時間中単位面積当たりのエネルギー q_w, q_e が一定の値を示すように変わると考える。すなわち直径 ϕ ははじめ小さく、だんだん大きくなって電流が最大になったとき ϕ も最大になると考える。この場合の ϕ_w, ϕ_e は次式で与えられる。

$$\phi_w = \sqrt{\frac{4\xi\Delta Q}{\pi q_w}}, \quad \phi_e = \sqrt{\frac{4(1-\xi)\Delta Q}{\pi q_e}} \quad (3.7)$$

放電終了後のクレータ断面形状はクレータの各位置においてクレータ直径のしめる広さによって決定される。図 3.7 は ϕ_w, ϕ_e が変わると考えて求めた断面形状である。実際のクレータ断面形状と比べると比較的よく合っていることがわかる。

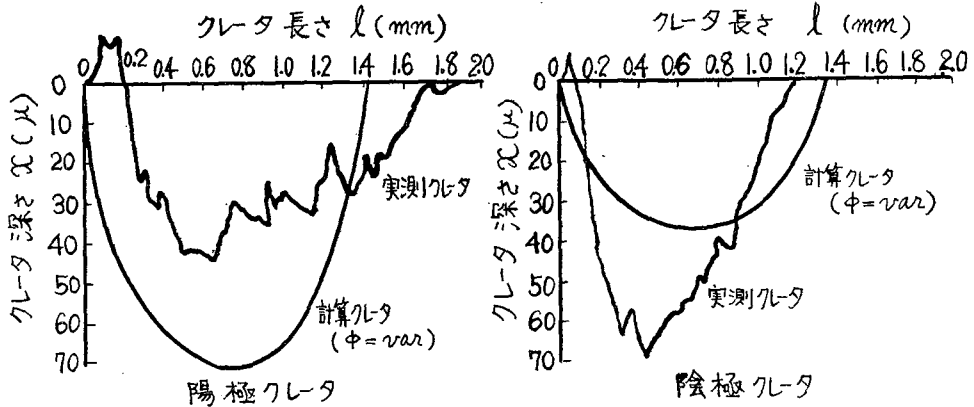


図 3.7 移動電極における単発放電クレータ形状

銅対銅 $V_{co}=100V$, $C=320\mu F$, $v=25m/s$, $r_L=17m\Omega$, $L=25.9 \times 10^{-7}H$

3.3 静止電極において放電柱直径が変化すると考えた場合のクレータ深さに対する考察

筆者はこれまで放電柱の直径が時間とともに変化しない場合と変化する場合を仮定して移動電極におけるクレータ深さを考えてきたが、ここでは放電柱直径が変わると考えて静止電極の場合のクレータ深さを考える。すなわち放電柱直径は単位面積当たりのエネルギー q が一定になるように変わると考え、放電の最初は点であるが時間とともに直径が大きくなり最大電流値 i_m を示すとき最大直径になる。そのときの直径はほぼ放電クレータの直径に等しくなっていると考えた。第2章では最大電流値とクレータ直径の関係を調べたがクレータ直径は最大電流値に比例して変わることがわかった。このことは単位面積当たりの熱量 q が放電中変わらないことを示している。

さて、 $C=320\mu F$, $V_{co}=100V$, $r_L=17m\Omega$, $L=25.9 \times 10^{-7}H$, $t_s=110\mu s$ の場合における静止電極単発放電クレータ深さを考えてみる。

放電時間 t_s を時間巾 $\Delta t=6\mu s$ で分割し各時間内に発生するエネルギー ΔQ を求めた。

$$\Delta Q = \frac{1}{J} \bar{i}_n^2 r_s \Delta t \quad (3.8)$$

放電抵抗 r_s は図式解法により $r_s=51m\Omega$ であった。またクレータ直径 ϕ_w, ϕ_e は実測により $\phi_w=0.65mm$, $\phi_e=0.625mm$ であった。

ΔQ の最大値を ΔQ_{max} とすると単位面積当たりの熱量 \bar{q}_w, \bar{q}_e は

$$\bar{q}_w = \frac{\xi \Delta Q_{max}}{\frac{\pi}{4} \phi_w^2} = 6.6 \text{ cal/cm}^2$$

$$\bar{q}_e = \frac{(1-\xi)\Delta Q_{\max}}{\frac{\pi}{4}\phi_e^2} = 3.3 \text{ cal/cm}^2$$

クレータ深さ x_w, x_e は

$$x_w = 1.93\bar{q}_w \times 10^{-4} (\text{cm}) = 12.7 \mu$$

$$x_e = 1.93\bar{q}_e \times 10^{-4} (\text{cm}) = 6.4 \mu$$

であった。クレータ直径は放電時間中変化するからこれを ϕ_{nw}, ϕ_{ne} とすると

$$\phi_{nw} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \sqrt{\frac{\xi\Delta Q_n}{q_w}} \quad (3.9)$$

$$\phi_{ne} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \sqrt{\frac{(1-\xi)\Delta Q_n}{q_e}} \quad (3.10)$$

クレータ断面形状を作図によって求めると図 3.8 のようになる。また図 3.8 には放電柱直径が変わらないと考えて計算した結果も示す。

実際のクレータ断面形状と比較してみるとクレータ深さは計算の方が実際のものよりも深くなっている。しかし形状はかなりよく合っていることがわかる。したがってこのような考えでクレータ形状を考察することはきわめて意義のあることといえる。

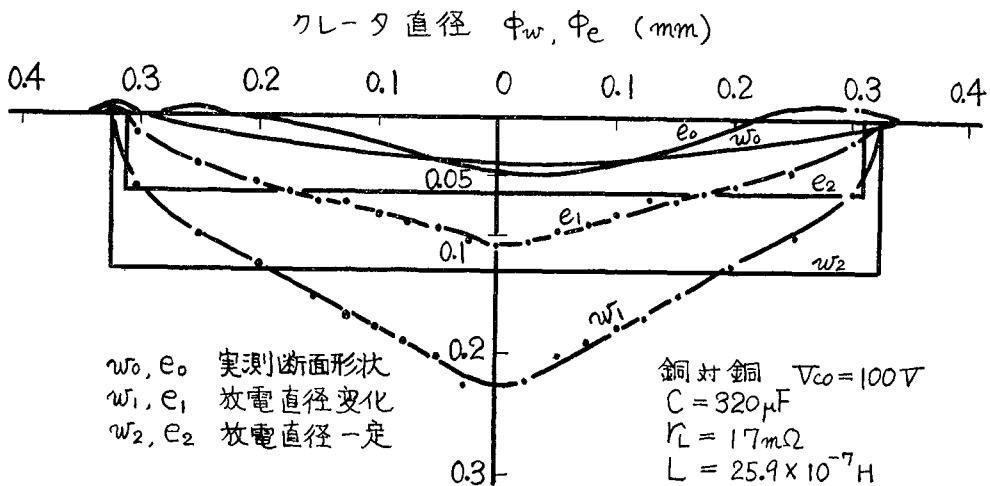


図 3.8 静止電極単発放電クレータ深さ

第4章 連続放電

本章では実際の放電研摩装置を使用して材料の放電研摩を行ない、回路の電気的な条件および機械的条件と加工量との関係をあきらかにする。また実際の放電研摩現象が単発放電のくり返しによって行なわれるものであることをあきらかにし、加工条件の変化にともなう加工量の変化とクレータ理論との関係をあきらかにする。

以上の理由から連続放電による放電研摩の研究を行なった。

4.1 加工量におよぼすコンデンサ静電容量の影響

a. 単位時間の放電回数が一定の場合

実験装置は第3章図 3.3 のものを使用した。コンデンサ静電容量 $C(\mu\text{F})$ と充電抵抗 $R(\Omega)$ の積が $770 \mu\text{F} \cdot \Omega$ になるような条件で一定時間加工を行なった。この場合は放電回数が一定になる。クレータ理論によると加工量は電極間のエネルギーに比例する。

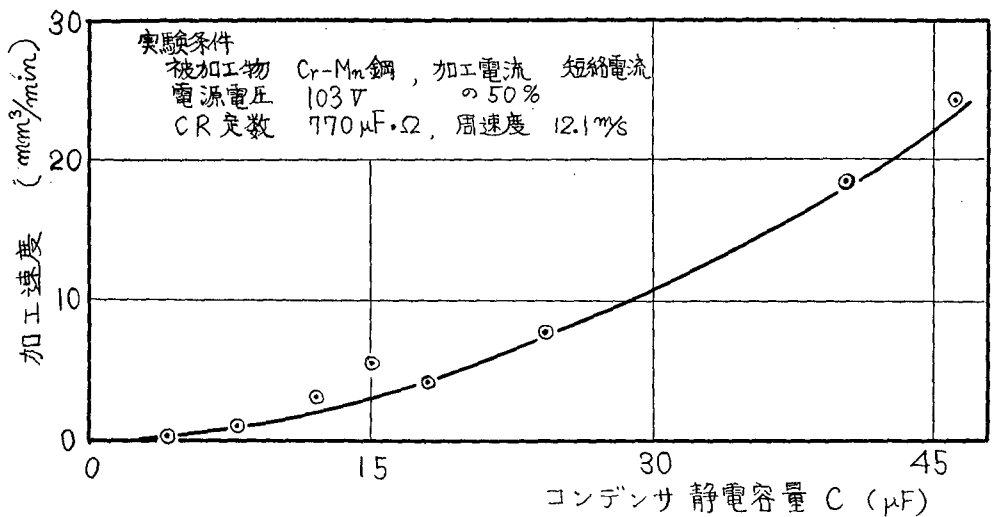


図 4.1 単位時間当たりの放電回数一定とした時における加工速度とコンデンサ静電容量との関係

電極間エネルギーはコンデンサ静電容量に比例するから、結局加工量はコンデンサ静電容量に比例することになる。結果を図 4.1 に示す。コンデンサ静電容量の小さいところでは、加工量が小さくなっている。これは、液の蒸発および熱伝導で失われるエネルギー損失の割合がコンデンサの小さいところで大きくなるためと思われる。

b. 放電回数を変えた場合

充電回路の抵抗を変えるとコンデンサの充電時間が変わり 単位時間当たりの放電回数も変わ

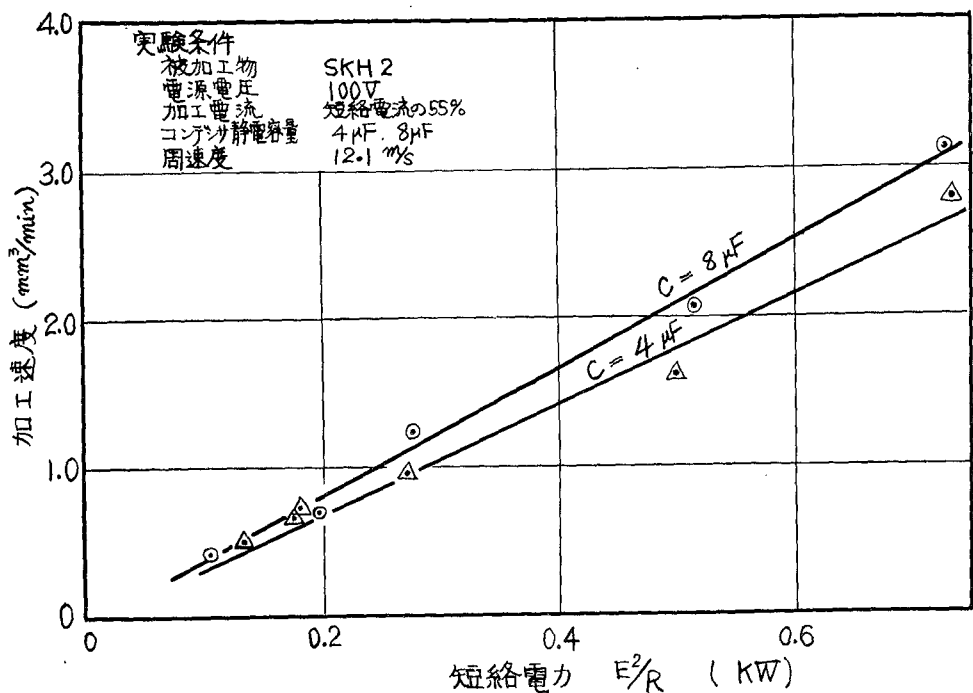


図 4.2 加工速度と短絡電力との関係

る。すなわち放電回数は充電抵抗の大きさに逆比例する。また充電抵抗を一定にしておいてコンデンサ静電容量を変えても放電回数は変わる。この場合放電回数はコンデンサ静電容量に逆比例して変わる。しかし1回の放電エネルギーの大きさはコンデンサ静電容量に比例するから全体の放電エネルギーは一定で変わらず加工量の変化もないものと考えられる。図4.2および図4.3は充電抵抗を変えた場合およびコンデンサ静電容量を変えた場合の加工量を示す。

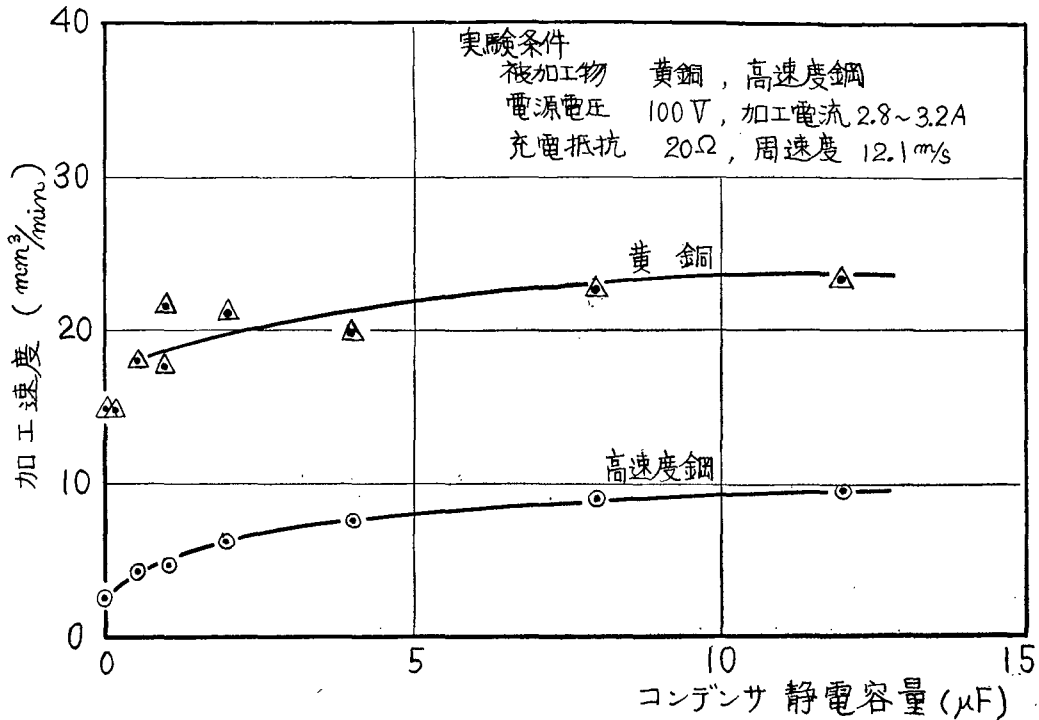


図 4.3 加工速度とコンデンサ静電容量との関係

充電抵抗を小さくすると放電回数はふえ加工量は直線的に増加することがわかる。またコンデンサのみを変えた場合は、コンデンサ容量の小さいところで加工量の減少が認められた。コンデンサ容量の小さいところでは1回の放電エネルギーが小さいため、液の蒸発その他で失われるエネルギーの割合が大きいため、加工量が少なくなるものと思われる。

4.2 加工量と材料の熱的性質との関係

クレータ理論によると電極間エネルギーが一定ならば単発放電加工量は材料の熱的性質によって変わる。いまクレータ直径 ϕ が同じならば加工量の差はクレータ深さの差になる。図4.3の黄銅と高速度鋼の加工量の比は大体2:1である。

第2章表2.1の黄銅と鉄のクレータ深さの比は1.8:1となり材料による加工量の相違をクレータ理論によって説明できる。すなわち一般に熱的に蒸発、溶融しやすい金属は加工量が大いといえる。

4.3 加工量におよぼす周速度の影響

電極間エネルギーが一定で変わらなければ加工量は電極の周速度に無関係である。結果を表4.1に示す。

回転円板のふれは0.02mm以下にしないと放電しない所ができ、加工量が低下する。

表 4.1 周速度と加工量の関係 (mg/min), 超硬合金 G2, $V_{CO}=100V$, $I=1.5A$

コンデンサ静電容量 $C(\mu F)$	4	8	12	32	44	64	128
周速度 (m/s)							
5	40	39	49	61	68	68	72
10	46	56	54	60	67	70	78
15	57.5	59	59	63	66	71	72
20	41.5	47	52	54	64	66	69

第5章 放電研摩面の性質

放電研摩は切削加工, 研削加工などの機械的加工法と違って放電の時の高い熱エネルギーを利用して材料を加工する方法であるため, 加工面の性質は機械加工した面の性質とは異なったものになる. そこで熱エネルギーの影響をうける放電研摩面の性質を調べた. すなわち

1. 表面あらさ: 加工面の表面あらさと放電エネルギーの関係をあきらかにし, 最良面を得るための条件を見出した.
2. 表面の硬度および加工変質層: 熱エネルギーの影響をうけて表面の組織がどのように変わるかをあきらかにした. また放電圧力による機械的な力の作用の影響を調べた.
3. 放電研摩面の機械的性質をあきらかにするために, 摩耗試験を行なって他の研摩によるものと比較しその優劣をあきらかにした.

5.1 表面あらさ

a. エネルギーの影響

第2章におけるクレータ理論によるとエネルギーが大きいときは, クレータ深さは大きくなる. あらさは単発放電クレータの集積したものの結果としてあらわれるからエネルギーが大きいとあらさはわるくなると考えられる. すなわち

$$\text{クレータ深さ} \propto \text{エネルギー} \quad \text{あらさ} \propto \text{クレータ深さ}$$

$$\text{したがって,} \quad \text{あらさ} \propto \text{エネルギー}$$

エネルギーを大きくするために放電回路のコンデンサ静電容量をいろいろ変えて加工し表面あらさを触針式仕上面検査機で測定した結果を表5.1に示す.

表 5.1 エネルギーと表面のあらさの関係, $H_{U, \max}(\mu)$, $V_{CO}=104V$, $I=2.5A$

コンデンサ静電容量 (μF)	0.1	0.2	0.5	0.7	1	2	4
黄銅	10		7		11	11	13
超硬合金	5	6	6	7	6		

表 5.2 放電回数とあらさの関係, $H_{U, \max}(\mu)$, 高速度鋼, $V_{CO}=100V$

$I(A)$	0.7	0.9	1.0	1.4	2.6	3.8
$C(\mu F)$						
4	12	14		16	22	23
8	16		18	18	24	

C を一定にして R を変える. したがって $C \times R$ が変わる.

$$\text{放電回数} \propto 1/R \quad I = 0.5 \frac{V_{CO}}{R}$$

超硬合金については、この程度のコンデンサ容量のところではあまり差は認められないが、黄銅ではコンデンサが大きくなるとあらさは悪くなり、面のあらさはエネルギーに比例することがわかる。また1回の放電エネルギーを一定にし、単位時間当たりの放電回数を変えた場合の表面あらさを表5.2に示す。

この場合充電抵抗の値を変えて充電時間を変化させることにより放電回数を変えている。

b. 材料の熱的性質の影響

放電エネルギーが一定ならばクレータ深さは材料の熱的性質によって変わる。蒸発、熔融のしにくい金属のクレータは浅く、したがってあらさもよくなると考えられる。表5.1において黄銅と超硬合金のあらさを比べると熱的に蒸発、熔融しにくい超硬合金のあらさは黄銅に比べてよくなっている。

c. 放電研磨による最良面

放電研磨による最良面を得るには、単發放電エネルギーを小さくしてクレータ深さが浅くなるような条件を選ばばよい。エネルギーを小さくするためにコンデンサ静電容量を小さくし、放電電圧を小さくして放電研磨を行なった。結果を表5.3に示す。

表 5.3 エネルギーと最良面の関係 $H_{\max}(\mu)$, 超硬合金 S1

コンデンサ容量	$0.25\mu F$	$0.1\mu F$	$0.1\mu F$
電 流 I (A)	0.7	2.5	0.25
電 圧 V_{CO} (V)	100	100	50
あらさ $H_{\max}(\mu)$	4	5	1

超硬合金 S1 種を放電電圧 50V, コンデンサ静電容量 $0.1\mu F$ で放電研磨した。表面あらさは最大高さあらさで 1μ と非常に良好であった。このように放電研磨では電気的条件を変えることにより比較的容易に優れた仕上面を得ることができる。

d. 周速度の影響

電極周速度を大きくすると放電クレータは浅くなる。このため仕上面のあらさは良くなるものと思われる。表5.4は周速度をいろいろ変えたときの加工量とコンデンサ静電容量との関係を示したものである。

周速度が大きくなるとあらさはわずかによくなるが、この程度の速度ではあまりはっきりしない。

表 5.4 周速度とあらさの関係 超硬合金 G2

周速度 (m/s)	コンデンサ静電容量 (μF)						
	4	8	12	32	44	64	128
5	9.5	14.5	12.5	13	22	20	24
10	8	11	12	18	20	24	24.5
15	11	11	17	16	17	24	25
20	8.5	13.5	8.5	15.5	20	26	21

5.2 硬度および加工変質層

放電の時の熱的作用により焼入れ可能な金属は表面硬度が上昇する。またその他の金属では放

電圧力による機械的な力が材料に加わり材料の表面附近は加工硬化するものと思われる。

そこで種々の材料を一定の電気的条件下で放電研摩し加工表面の硬度をマイクロビッカース硬度計で測定した。加工条件は $V_{co}=100V$, $C=64\mu F$, $I=1A$ で、材料は純鉄, S15C 鋼, S45C 鋼, SKH 2種, 超硬合金 S1 種である。結果を図 5.1 に示す。

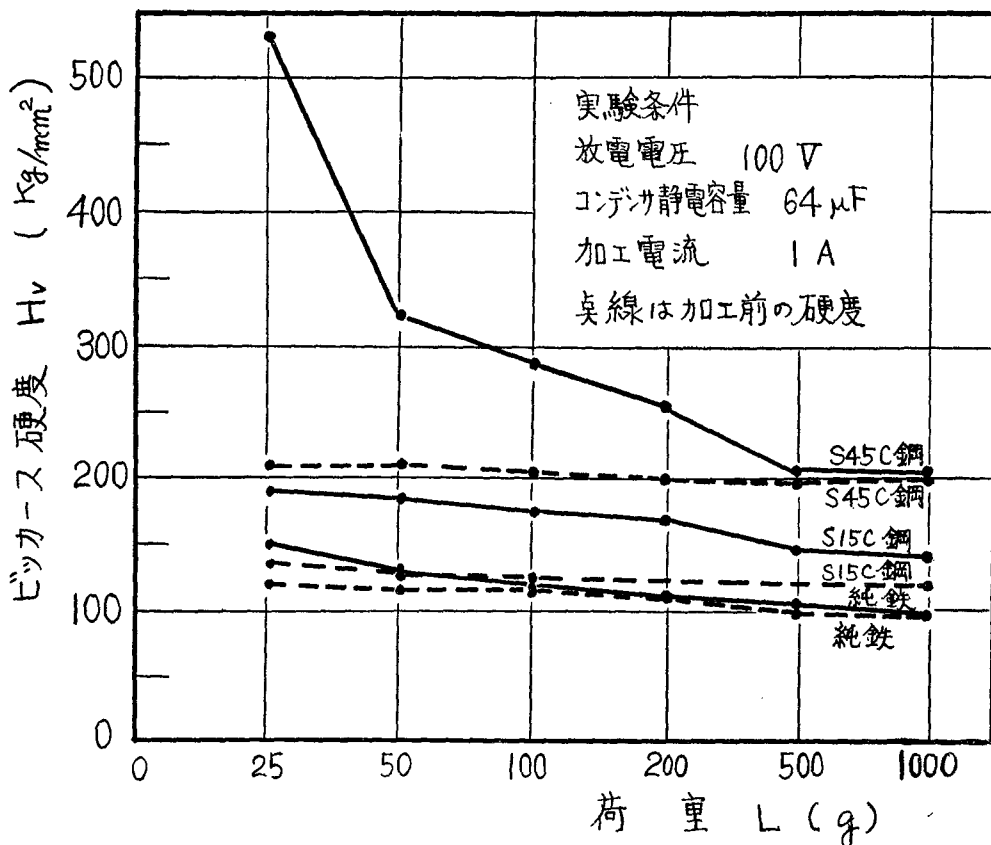


図 5.1 放電研摩面の硬度

実験の結果得られたことをまとめると次のようになる。

- 純鉄, S15C 鋼, S45C 鋼は加工前より硬度が上昇する。
- S45C 鋼は表面に硬度の高い焼入組織ができる。
- 純鉄, 軟鋼にはこのようなものは認められず, これらの硬度上昇は放電圧力による加工硬化のためと思われる。
- SKH, 超硬合金の表面には一度溶けた金属が再凝固したためにできたと思われる非晶質の加工変質層ができる。この加工変質層の硬度は生地硬度よりも大きくなることはなかった。
- 純鉄, S15C 鋼の顕微鏡組織を図 5.2 a, b, S45C 鋼のクレータ周辺の焼入れ組織を図 5.3. SKH 2 種および超硬合金 S1 種のクレータ周辺の顕微鏡写真を図 5.4 および図 5.5 に示す。

加工変質層はコンデンサの小さい条件のときでもできる。

コンデンサ静電容量 $0.1\mu F$, 放電電圧 50V で超硬合金を放電研摩したときの加工面のテーパセクションによる顕微鏡写真を図 5.6 に示す。



図 5.2a 純鉄クレータ周辺の組織 (100倍)
 $V_{CO}=100V$ $C=64\mu F$

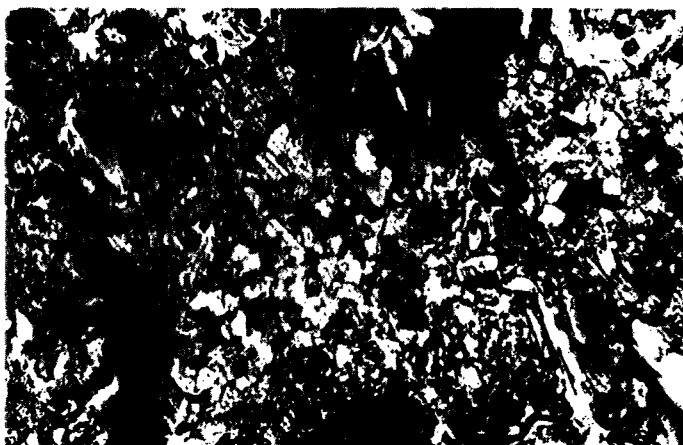


図 5.2b S15C 鋼のクレータ周辺の組織 (100倍)
 $V_{CO}=100V$ $C=64\mu F$

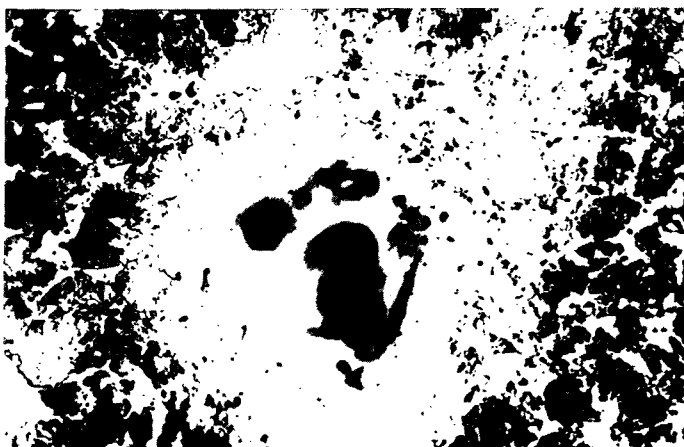


図 5.3 S45C 鋼のクレータ周辺の組織 (400倍)
 $V_{CO}=100V$ $C=64\mu F$



図 5.4 SKH
2 種のクレ
ータ周辺の
組織(100倍)

$V_{co}=100V$

$C=64\mu F$



図 5.5 超硬
合金 S1 種
のクレータ
周辺の組織
(1000倍)

$V_{co}=100V$

$C=64\mu F$

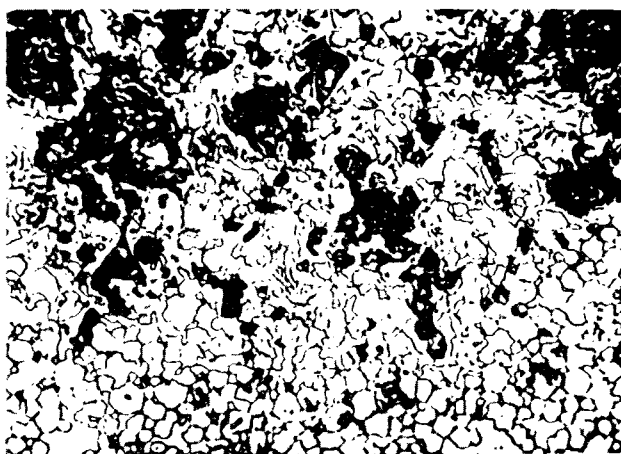


図 5.6 超硬
合金の組織
(1000倍)

$V_{co}=50V$

$C=0.1\mu F$

テーパ角 約 2°

この場合もごくわずかではあるが加工変質層が認められた。

5.3 耐 摩 耗 性

SKH 2 種，超硬合金 S1 種を放電研磨し，多刃旋盤改造の摩耗試験機で摩耗試験を行なった。また平面研削盤で研削した SKH 2 種およびダイヤモンド砥石で研削した研削面の摩耗試験

も行ない比較した。結果を表 5.5 に示す。

表 5.5 高速度鋼，超硬合金の摩耗試験 $V_{co}=100V$ $C=0.25\mu F$ 摩耗量単位：mg

			1 時間摩耗量	5 時間摩耗量
高 速 度 鋼 2 種 (SKH)	放電研摩面	試 験 片	1.1	7.8
		リ ン グ	38.4	198.7
	研 削 面	試 験 片	1.2	17.6
		リ ン グ	18.6	175.5
	超硬合金 S1	放 電 研 摩 面		0.2
研 削 面		0.3	6.2	

放電研摩を行なうことにより，高速度鋼の研摩面は耐摩耗性が向上した。また放電研摩を行なった超硬合金の耐摩耗性は最良のダイヤモンド砥石研削面に匹敵する良好な結果が期待できることがわかった。

第 6 章 放電研摩を行なった超硬バイトによる 切削試験

超硬バイトの研摩には，これまで主としてダイヤモンド砥石が使われているが，これに代わるものとして放電研摩による方法が，最近行なわれるようになった。従来放電研摩を行なった超硬バイトの寿命は他の方法で研摩したものに比べるといくらかのびるといわれているが，くわしい研究は少ない。そこで

1. 放電研摩を行なったバイトで，S55C 鋼の切削試験を行ない寿命曲線を求める。
2. 市販の超硬バイトについても同様の試験を行ない比較する。また電解研削を行なったバイトとの比較も行なう。
3. 放電研摩バイトの寿命特性を第 5 章で研究した材料の表面組織の変化と関連させて説明する。

以上の目的で，超硬バイトチップによる切削試験を行なった。

6.1 実 験 条 件

超硬バイトチップ：三菱金属鉱業製三菱ダイヤタニット STi10。旋盤：池貝鉄工製 E-18 高速旋盤。被削材：S55C。切削条件：切込み 1.5mm（片側），送り 0.32mm/rev，バイト研摩条件： $V_{co}=50V$ ， $C=0.1\mu F$ ， $I=0.25A$ ，仕上面あらさ： $1.0\sim 1.5\mu H_{max}$ ，寿命判定基準：JIS. B4011. による。

すくい面摩耗深さ：深さの測定は触針式仕上面検査機と顕微鏡の焦点深度法による方法を併用した。すくい面摩耗限度は 0.05mm である。フランク摩耗巾：摩耗巾の測定は工具顕微鏡を使って行なった。フランク摩耗限度は 0.4mm である。

すくい面摩耗痕およびフランク摩耗巾の 1 例を図 6.1 に示す。

6.2 実験結果（バイトの寿命曲線）およびその考察

バイトの寿命時間 T および切削速度 V との間には n, c を定数として

$$VT^n=c \quad (6.1)$$

の関係がある。寿命時間 T は，切削速度 V が一定の場合における値である。試験片の大きさ

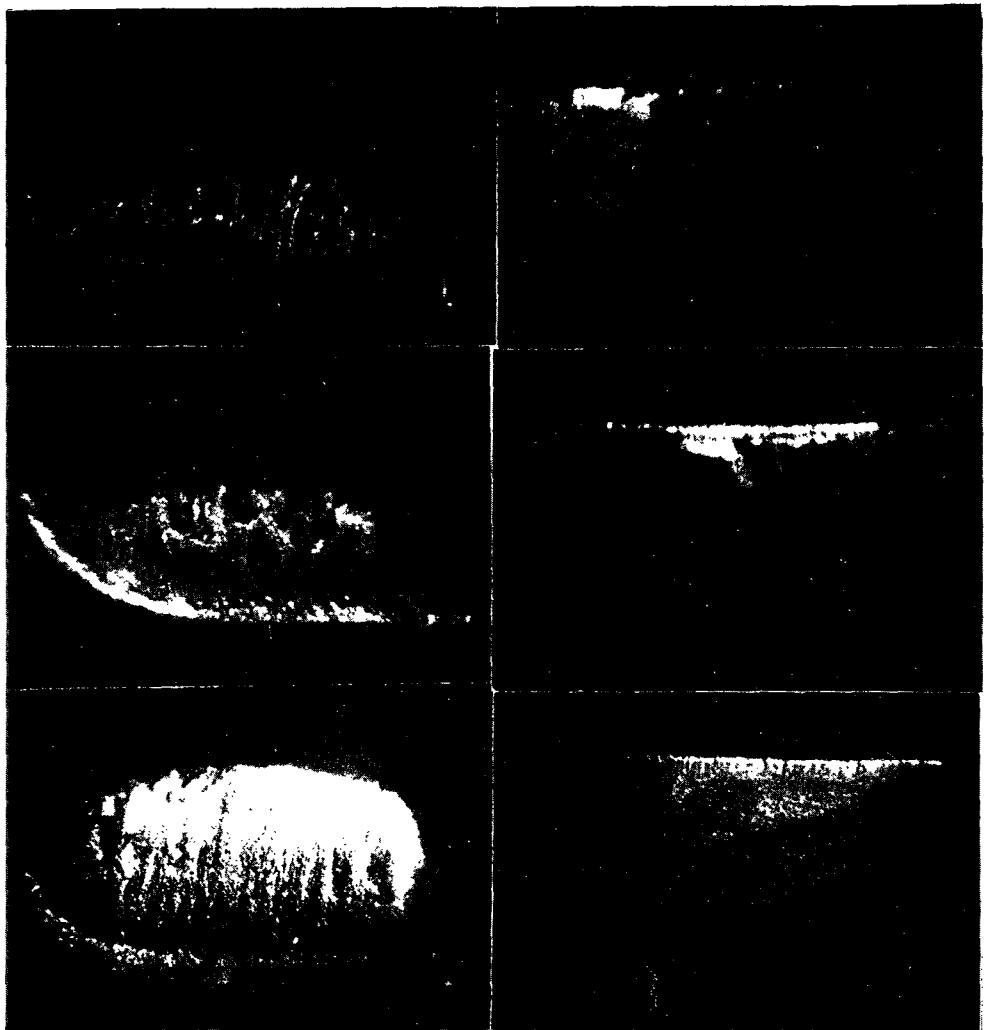


図 6.1 超硬バイトチップのすくい面摩耗およびフランク摩耗 (25倍)

(左) すくい面摩耗 (右) フランク摩耗

切削条件: 乾式切削, 被削材 S55C 鋼, 切削速度 350m/min 切込み
1.5mm (片側), 送り 0.32mm/rev

(上) ダイヤモンド研削バイト 1 分 13 秒

(中) 電解研削バイト 1 分 21 秒

(下) 放電研摩バイト 1 分 14 秒

が小さい場合はいくつもの試験片を使うので, 切削速度が必ずしも同じではなくなる. このため切削速度の不ぞろいの影響をなくすために実際の測定データは補正されなければならない. いま超硬バイトの場合を考えてみると, 一般に式 (6.1) の n は大体 $1/6$ に近い値をとる. 一方バイト寿命は, すくい面摩耗深さ K_T およびフランク摩耗巾 V_B に反比例すると考えると

式 (6.1) は

$$\left(\frac{1}{K_T}\right)V^c = c' \quad (6.2)$$

$$\left(\frac{1}{V_B}\right)V^6=c'' \quad (6.3)$$

となり工具寿命は切削速度の6乗に比例して変わることになる。いま切削速度 V_1, V_2 で2回切削した後のバイトのすくい面摩耗深さおよびフランク摩耗巾の測定データを K_{TM_1}, V_{BM_1} とすると、補正後のデータ K_{TD_1}, V_{BD_1} の間には次式が成り立つ。

$$K_{TD_1}=K_{TM_1} \times \left\{ \frac{V}{\left(\frac{V_1+V_2}{2}\right)} \right\}^6 \quad (6.4)$$

$$V_{BD_1}=V_{BM_1} \times \left\{ \frac{V}{\left(\frac{V_1+V_2}{2}\right)} \right\}^6 \quad (6.5)$$

次に切削速度 V_3, V_4 で、切削した後の測定データを K_{TM_2}, V_{BM_2} とすると、切削速度 V における補正された K_{TD_2}, V_{BD_2} の値は

$$K_{TD_2}=K_{TD_1}+K_{T\Delta_1}=K_{TD_1}+(K_{TM_2}-K_{TM_1}) \times \left\{ \frac{V}{\left(\frac{V_3+V_4}{2}\right)} \right\}^6 \quad (6.6)$$

$$V_{BD_2}=V_{BD_1}+V_{B\Delta_1}=V_{BD_1}+(V_{BM_2}-V_{BM_1}) \times \left\{ \frac{V}{\left(\frac{V_3+V_4}{2}\right)} \right\}^6 \quad (6.7)$$

となる。以上のような補正を行なって、切削速度と工具寿命との関係を求めた。結果を図6.2

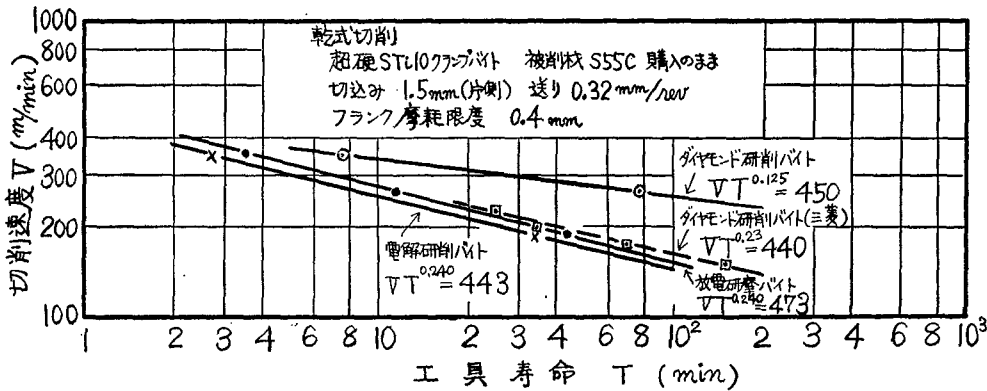


図 6.2 超硬バイトチップの寿命曲線

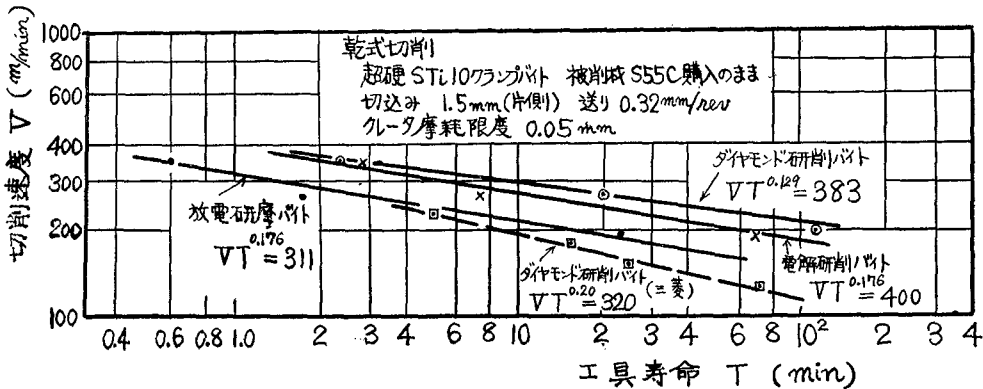


図 6.3 超硬バイトチップの寿命曲線

および図 6.3 に示す。図 6.2, 図 6.3 におけるダイヤモンド研削というのは、入念にダイヤモンド研削を行なった研削面である。またダイヤモンド研削（三菱）とあるのは、三菱金属鉱業で行なった切削試験の結果である。

図 6.2, 図 6.3 から次のようなことがわかった。

a. 放電研摩を行なった超硬バイトの寿命は最良の仕上げをしたダイヤモンド研削バイトに比べるといくぶん劣るが、電解研削バイトまたは普通の仕上げをしたダイヤモンド研削バイトと同等である。

b. 放電研摩を行なった超硬バイトはすくい面摩耗に関しては電解研削バイトより劣っていたが、フランク摩耗に関してはこれよりも良い結果を示し、機械的摩耗に対して、耐摩耗性のあることを示した。このことは第 5 章で行なった摩耗試験の結果からよく説明することができる。すなわち放電研摩を行なった超硬バイトの耐摩耗性は最良のダイヤモンド研削を行なった面に匹敵し得ることが第 5 章の結果からあきらかである。また放電研摩バイトのすくい面摩耗があまりよくなかったのは、加工表面にできるうすい加工変質層と微細クラックのためと思われる。加工変質層は図 5.6 でも示したように精密仕上を行なってもわずかながら存在する。また放電のときの熱によって微細クラックが発生し、これが工具寿命を短くするものと思われる。

第 7 章 結 論

1. 放電電流にともなう熱エネルギーがしゅん間的に材料の表面に与えられたと仮定して、材料の相変化にともなう熱エネルギーを考慮に入れてクレータ深さを理論的に求めた。その結果、このクレータ理論を使うことにより、従来説明のできなかった放電加工の実験結果を説明することができた。

2. 移動電極の場合における放電点の移動に関する実験を行なった結果、静止電極の場合のクレータ理論が移動電極の場合にもそのまま使えることがわかった。また静止電極の場合のクレータ深さを放電柱の直径が変わることすなわち、放電柱のエネルギー密度一定という考えで解析した結果実際に近い形を得ることができた。

3. 連続放電による放電研摩の実験結果の全てをクレータ理論で説明することができることを示した。すなわち、実際の放電研摩は単発放電の集りによって行なわれると考えることによって実験結果を説明できることを示した。

4. 放電の熱エネルギーによって、焼入可能の金属の表面は焼入組織に変わりその他の金属表面は放電圧力によって加工硬化したり加工変質層ができたりすることがわかった。また放電研摩面は耐摩耗性も向上することがわかった。

5. 実用的な面から考えて、実際に放電研摩を行なった超硬バイトの工具寿命は、入念にダイヤモンド研削したバイトよりもいくぶん劣るが、普通のダイヤモンド研削を行なったバイトよりも良い結果を示すことがわかった。

参 考 文 献

- (1) 斉藤長男：放電加工研究会資料，第21回（1960）
- (2) 文献（1）に同じ
- (3) 三谷義明：放電加工研究会資料，第26回（1961）
- (4) 木本保夫：日立造船技報，21巻2号（1960）80

審 査 結 果 要 旨

放電研摩法は、回転円板電極と導体部品との間にごく短時間の小放電を繰り返し発生させて、部品表面を仕上げるものである。断続する小放電の瞬間的な熱によって部品表面の一部が熔融蒸発して加工が行なわれるので、焼入れ鋼、超硬合金、耐熱合金など普通の方法では加工の困難な材料も容易に加工できる。

本論文はこのような放電研摩法について、加工の機構と加工面の特質とを明らかにしてその実用性を検討したもので、全文7章よりなる。

第1章は緒論であって、一般的な放電加工法の原理およびこれに関連して発表された従来の研究の概要を述べ、あわせて本研究の目的を述べている。

第2章は静止電極における単発放電の研究である。著者は、半無限体表面に与えられた瞬間熱源の熱伝導の理論をもとにして単発放電クレータの深さを表わす式を導き、多くの電気的条件的変化によるクレータ深さを実測して、理論と実験とがかなり良く一致することを認めた。

第3章は移動電極における単発放電の研究である。著者はまず、放電中単位面積当たりの放電エネルギーが一定であるように放電柱の直径が変化することを推論し、また放電柱は移動電極の半分の速度で静止試片面上を動くことを実験的に確かめている。その結果から、第2章の静止電極の場合と同様な考え方でクレータ形状を求め、数多くの実験条件でのクレータ形状を実測し、理論と実験とがかなり良く一致することを認めた。これは本論文の最も重要な成果である。

第4章は回転円板電極を用いる連続放電の研究である。試作した放電研摩装置によって、放電研摩量に及ぼす各種の電気的條件、円板の周速度、加工物材質などの影響を調べ、これらはいずれも第3章の移動電極による単発放電の集積の結果として説明できることを示した。

第5章は放電研摩面のあらさ、加工変質層、硬度および耐摩耗性などの放電研摩面の性質についての実験的研究である。鋼では表層にごく薄い焼入れ組織ができること、超硬合金の場合にもきわめて薄い変質層を認めるがダイヤモンド研削に匹敵する良好な仕上面が得られることなどを示した。

第6章は放電研摩を行なった超硬バイトによる切削試験の報告であり、普通のダイヤモンド研削バイトとほぼ同等のバイト寿命を持つことを明らかにした。

第7章は総括的な結論である。

以上要するに、本論文は新しい精密加工法の一つである放電研摩法について、静止ならびに移動電極における単発放電クレータの基礎理論をもとにして加工の機構の解明を行ない、あわせて放電研摩面の性質、放電研摩超硬バイトによる切削試験などの研究を行なってその実用性を明らかにしたもので、精密工学の発展に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。